

一种改善 CMOS 图像传感器性能的复位控制电路设计

晋孝峰, 岳素格, 刘丽艳, 赵 岳, 王春芳

(北京微电子技术研究所, 北京 100076)

摘 要: 像素复位控制电路是 CMOS 图像传感器的重要组成部分, 其特性直接影响着图像的质量. 为了改善传统复位控制电路对 CMOS 图像传感器性能的影响, 设计了一种基于 CMOS 图像传感器的双斜率积分复位与软硬结合复位原理的高性能复位控制电路. 通过该控制电路可以实现双斜率积分复位、软硬结合复位以及独立的硬复位与软复位方式. 可以根据应用条件, 进行动态范围的扩展或低噪声无图像滞后的复位.

关键词: CMOS 图像传感器; 复位控制电路; 双斜率积分; 软硬结合复位

中图分类号: TN43

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)11-0132-04

A Reset Control Circuit for Improving the Performance of CMOS Image Sensor

JIN Xiao-feng, YUE Su-ge, LIU Li-yan, ZHAO Yue, WANG Chun-fang

(Beijing Microelectronics Technology Institute, Beijing 100076, China)

Abstract: Pixel reset circuit is an important component of CMOS image sensor, whose characteristics affect the image quality directly. To improve the performance of CMOS image sensor, a high performance reset control circuit was designed based on the principle of CMOS image sensor dual-slope integration reset and hard-soft reset. The circuit can achieve dual-slope integration reset mode, hard-soft reset mode, independent hard reset and independent soft reset. According to different application, this circuit can implement enhancing dynamic range or reset of low reset noise without image lag.

Key words: CMOS image sensor; reset control circuit; dual-slope integration; hard-soft reset

1 引言

CMOS 图像传感器采用标准的 CIS (CMOS Image Sensor) 工艺制造, 相比于 CCD 器件, 其具有低功耗、低成本、易于片上集成、驱动电路简单以及固有的抗辐射特性等特点, 在许多应用中逐渐取代 CCD, 成为图像传感器技术领域的主流^[1]. 在 CMOS APS (Active Pixel Sensor) 图像传感器中, 动态范围是重要的性能指标, 它对图像质量有很大的影响, 提高动态范围可以有效的提高图像的对比度和分辨率^[2]. 传统 CMOS 图像传感器存在图像滞后与复位噪声, 对于特殊场景下的应用有着重要的影响^[3].

在 CMOS APS 图像传感器电路中, 像素复位

控制电路的特性直接影响图像传感器的图像质量. CMOS 图像传感器复位控制电路是产生像素单元复位驱动信号的电路, 是 CMOS 图像传感器中关键时序控制电路模块. 如图 1 所示, 在 CMOS 图像传感器中, 一般一行像素共用一个复位控制电路, 复位控制电路根据输入行选信号和复位信号, 产生相应行像素的复位控制信号, 以驱动像素单元的复位管开启, 使像素单元中光电二极管复位至预定复位电压, 它的特性对 CMOS 图像传感器的图像性能有很重要的影响. 在文献[4-5]中, 分析了像素的软复位与硬复位方式对 CMOS 图像传感器性能的影响, 提出了软硬复位结合的复位方式, 实现了低复位噪声, 而不牺牲非线性与引入图像滞后. 一种双斜率积分复位技术可以有效地扩展 CMOS 图像传感器的动

态范围,具有电路结构和时序控制简单等特点^[6].

本文在分析 CMOS APS 图像传感器的双斜率积分复位与软-硬结合复位实现方式的基础上,设计一种 CMOS 图像传感器复位控制电路,通过该电

路实现双斜率积分复位方式,扩展动态范围.而且,该电路可以进行软-硬结合的复位方式,实现低噪声无图像滞后的复位.同时,可以根据应用需要,提高复位电压,实现像素的硬复位.

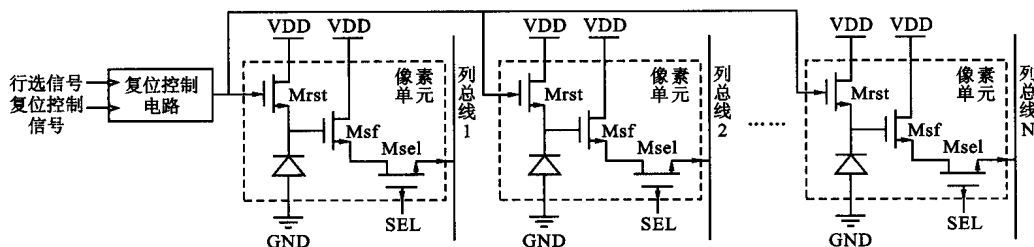


图1 CMOS 图像传感器中的复位控制电路示意图

2 复位控制电路设计

2.1 双斜率积分工作原理

如图2为双斜积分操作原理图.双斜率积分方法与单斜率积分方法的具体差异体现在:双斜积分对于每行像素的积分过程是由两次复位操作构成的,第一次 RESET 复位操作使像素复位到电压 VRES,此时积分开始;第二次 RESET_DS 复位操作使当前信号电压低于 VREF 电压的像素复位到 VREF 电压,其余像素不受影响,此时二次积分开始.

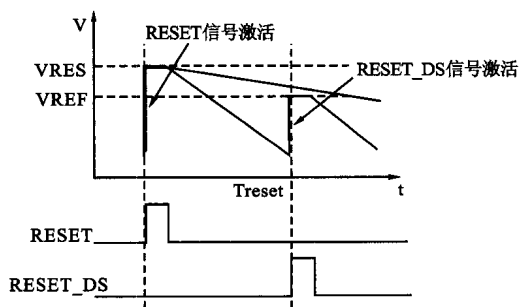


图2 双斜积分操作

双斜率光积分时序控制电路的实现原理是,通过正常积分复位信号 RESET 和双斜率积分复位信号 RESET_DS 选择加载到像素单元复位管栅极的复位信号的电压幅度,即 RESET 信号有效时,选择复位管复位信号电压幅度为 VRES,对像素进行正常积分;RESET_DS 信号有效时,选择复位管复位信号电压幅度为 VREF,对接收强光信号的像素进行双斜积分.

2.2 软硬复位工作原理

通过将软复位与硬复位结合,利用两者的特性实现更高性能的复位.基本概念就是通过硬复位消除图像滞后,随后的软复位减少复位噪声. HARD—TO—SOFT 复位是一种简单的软复位与硬复位结

合的方案^[4].在该方案中,像素结构不改变,而在每列采用两个额外的管子.在复位过程的第一个阶段,使 HTS 为高电平,由于 MOS 管的二极管连接,使复位管的漏端电压是低于其栅端电压,从而引起硬复位.随后的第二阶段,使 HTS 为低电平,使复位管的漏端连接到 VDD,使复位管工作于饱和区,从而实现软复位.电路结构图如图3所示.

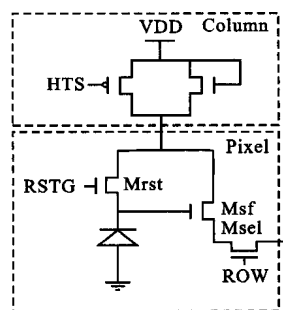


图3 采用 HTS 复位技术的 APS 电路

2.3 双斜率积分工作原理

通过上面的介绍可知,复位控制电路的特性对 CMOS 图像传感器的复位噪声、图像滞后、动态范围等性能有着重要影响,软硬结合的复位技术与双斜率积分技术在复位控制电路中的应用将改善 CMOS 图像传感器的性能.根据软硬结合的复位技术与双斜率积分技术原理,设计了一种高性能的复位控制电路,其电路结构如图4所示. CMOS 图像传感器复位控制电路包括复位逻辑控制电路与复位电源电压控制电路.

复位逻辑控制电路根据行选信号与复位信号产生像素单元的复位控制信号,可以实现硬复位、软复位、双斜率积分的时序复位控制信号.如图4所示, ROW 为行选控制信号,RESET 与 RESET_DS 分别为复位信号、双斜率积分复位控制信号, VRES、VREF 分别为复位信号电平电源、双斜率积分复位信号电平电源.

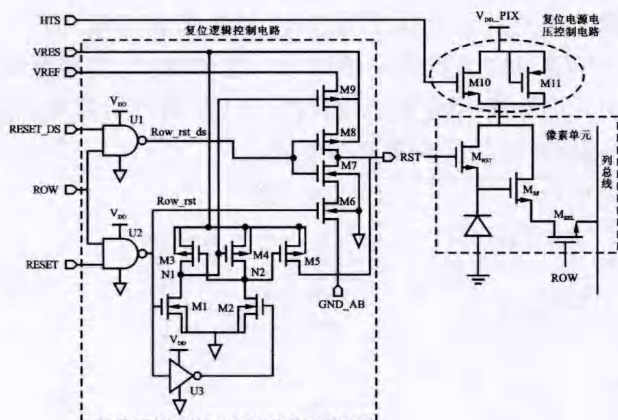


图4 CMOS图像传感器复位控制电路

当行选信号 ROW 有效时, RESET、RESET_DS 信号可以通过 2 个与非门 U1 与 U2 产生相应的控制信号 Row_rst 与 Row_rst_ds, 当 Row_rst 为低电平, Row_rst_ds 为高电平, M6 管与 M9 管关断, 阻断 Row_rst_ds 信号路径, M5 管导通, RST 信号产生 VREF 电源电平的信号; 当 Row_rst_ds 为低电平, Row_rst 为高电平, M5 管关断, 阻断 Row_rst 信号路径, M6 管与 M9 管导通, RST 信号产生 VRES 电源电平的信号。

在复位逻辑控制电路中, 采用了传统的交叉耦合结构的电平转换电路, 可以实现 3.3V 逻辑电平的输入与输出, 也可以实现 3.3V 逻辑电平输入与 4.2V 逻辑电平输出。

复位电源电压控制电路主要用于控制实现软硬复位结合时的像素单元的复位电源电压。复位电源电压控制电路提供像素单元的电源电压, 用于实现硬复位、软复位方式的结合。当 HTS 信号为高电平时, 由于二极管连接的 M11 管, 像素电源为复位电压 $VDD_PIX - V_{TH}$, 提供硬复位时的电压, 当 HTS 信号为低电平时, M10 管导通, VDD_PIX 电源连结至像素单元电源, 提供软复位时的电压。通过复位逻辑控制电路与复位电源电压控制电路结合, HTS、RESET 信号控制实现硬复位与软复位结合的复位方式。

3 仿真结果

根据本文的复位控制电路结构, 采用 $0.18\mu\text{m}$ CMOS 工艺完成复位控制电路设计, 并对电路的每个复位方式的功能进行了仿真验证。

3.1 硬复位方式功能仿真

设置 VRES 电源为 4.2V, HTS 信号始终为低电平, 像素单元电源为 3.3V。仿真结果如图 5 所示。

当 RESET 有效时, 相应行的复位控制电路的输出 RST 产生 4.2V 高电平的复位信号, 复位电路输出 RST 的复位信号电平为 4.2V, 像素的积分节点被复位到 3.3V 的固定电压, 像素进行硬复位。

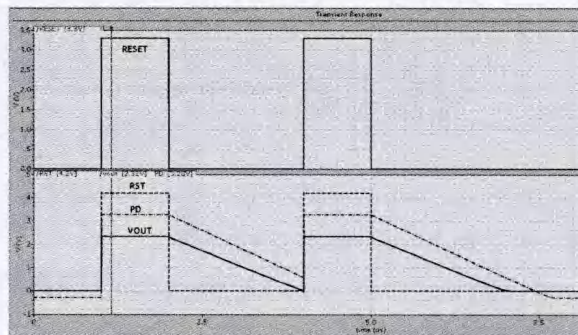


图5 硬复位方式功能仿真图

3.2 软复位方式功能仿真

设置 VRES 电源为 3.3V, HTS 信号始终为低电平, 像素单元电源为 3.3V。仿真结果如图 6 所示。当 RESET 有效时, 相应行的复位控制电路的输出 RST 产生 3.3V 高电平的复位信号, 像素的积分节点被复位到 2.6V 电压值, 像素进行软复位。

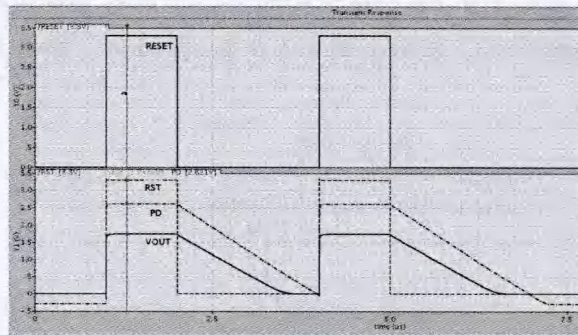


图6 软复位方式功能仿真图

3.3 硬复位与软复位结合的 HTS 复位功能仿真

设置 VRES 电源电压为 3.3V, RESET 与 HTS 信号配合完成 HTS 复位时序。仿真结果如图 7 所示。首先 HTS 信号为高电平, 像素单元电源为 2.8V, RESET 有效时, 复位周期开始, 相应行的复位控制电路的输出 RST 产生 3.3V 高电平的复位信号, 像素进行硬复位; 在复位周期的后半段, HTS 信号为低电平, 像素单元电源为 3.3V, 像素进行软复位; 复位周期结束, RESET 信号回到高电平。

3.4 双斜率积分的复位功能仿真

设置 VRES 电源电压为 3.3V, VREF 电源电压为 2.5V, 由 RESET 与 RESET_DS 信号配合完成双斜率积分时序。首先 RESET 信号有效, 使当前选通行的像素复位到 VRES 电源电压 (3.3V), 此时积分开始; 积分一段时间后, RESET_DS 信号有效,

使当前所选通行中像素信号电压低于 V_{REF} 电压 (2.5V) 的像素复位到 V_{REF} 电压,其余像素不受影响。仿真结果如图 8 所示。复位电路输出的复位信号 RST 的第一个为 3.3V 电平,之后为 2.5V 电平,而第一个复位信号时两个像素均被复位,第二个信号时仅有像素 1 被复位。

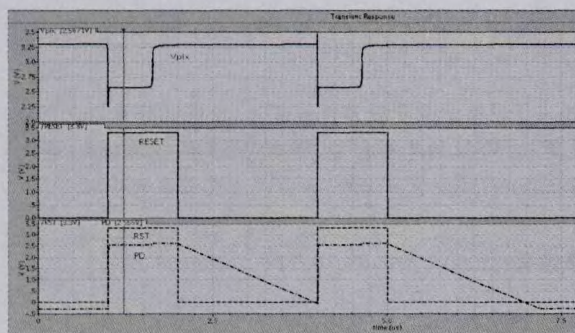


图 7 硬复位与软复位结合的 HTS 复位功能仿真

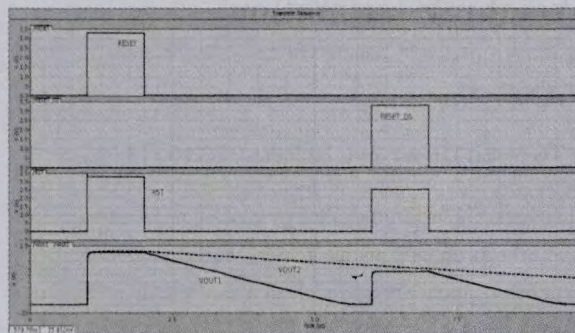


图 8 双斜率积分的复位功能仿真图

4 结束语

文中基于扩展动态范围的双斜率积分复位原理以及软硬结合复位方式原理,设计了一种实现多种复位方式的 CMOS 图像传感器复位控制电路。通过对电路的仿真,验证了电路的基本硬复位方式功能与软复位方式功能。同时,电路的仿真结果表明,该

电路可以实现双斜率积分复位与软硬结合的复位方式,有效提高 CMOS 图像传感器的动态范围,也可以实现低噪声无图像滞后的复位,适应于不同的应用需求。

参考文献:

- [1] Bigas M, Cabruja E, Forest J, et al. Review of CMOS image sensors[J]. Microelectron, 2006(37):433-451.
- [2] Yang D, El Gamal A. Comparative analysis of SNR for image sensors with enhanced dynamic range[C]//Proceedings of the SPIE Electronic Imaging 99 conference, San Jose, CA:IEEE,1999:197-211.
- [3] Liu Xinqiao, Antonio Bulgheroni, Michele Bianda, et al. Characterization of a thinned back illuminated MI-MOSA V sensor as a visible light camera [D]. USA: Stanford University, 2002.
- [4] Pain B, Yang G, Ortiz M, et al. , Analysis and enhancement of low-light-level performance of photodiode-type CMOS active pixel imagers operated with sub-threshold reset[C]//1999 IEEE Workshop on CCDs and AIS, Nagano, Japan:IEEE,1999.
- [5] Tian H. Noise analysis in CMOS image sensors [D]. USA: Stanford University, 2000.
- [6] Dual slope dynamic range expansion technical Brief[EB/OL]. [2013-01-20]. Cypress Semiconductor Corporation, 2005. www.cypress.com.

作者简介:

晋孝峰 男,(1986-),硕士。研究方向为抗辐射 CMOS 图像传感器设计。

